

薄膜磁気ヘッド及びその製造方法

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the invention

本発明は、薄膜磁気ヘッド、これを用いた磁気記録装置及びその製造方法に関し、更に詳しくは、薄膜磁気ヘッドの改良に係る。

2. Discussion of Background

薄膜磁気ヘッドの内部に備えられる書き込み素子は、空気ベアリング面（以下ABSと称する）の側（前方部と称する）において、第1のポール部及び第2のポール部を、ギャップ膜を介して対向させ、ABSとは反対側の後方部において、第1のポール部に連なる下部磁性膜及び第2のポール部に連なる上部磁性膜を結合させ、バックギャップを構成する。バックギャップの周りには、下部磁性膜及び上部磁性膜の膜面に対して平行で、かつ、ABSに対してほぼ直交する平面に、バックギャップを周回する平面状のコイルが配置される。コイルは、一般にフレームメッキ法によって形成される。

この種の薄膜磁気ヘッドでは、バックギャップからポール部までのヨーク長YLが短いほど、優れた高周波特性が得られることが知られている。ヨーク長を短くするには、バックギャップからポール部までの間に配置されるコイルのターン数を減少させるか、又はターン数を減少させずに、コイル幅を小さくしなければならない。

しかし、コイルのターン数は、要求される起磁力によって定まるため、コイルターン数を減少させることによって、ヨーク長YLを短くすることには限界がある。

一方、ターン数を減少させずに、コイル幅を小さくした場合は、コイルの電気抵抗が増え、書き込み動作時に発熱温度が上昇する。発熱温度が上昇すると、第1のポール部及び第2のポール部が熱膨張し、ポール部がABSに盛り上がるサーマルプロトリュージョンが発生する。サーマルプロトリュージョンが発

生すると、書き込み及び読み取り動作時に、サーマルプロトリュージョンを生じた部分が磁気記録媒体に接触し、ヘッドクラッシュ又は磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を招くから、厳に回避しなければならない。サーマルプロトリュージョンの回避が不可能であれば、結局は、薄膜磁気ヘッドの浮上量を増大させなければならず、そうすると、高記録密度のための低浮上量化の要求に応えることができなくなる。

上述した問題を解決するのに有効であるかもしれない先行技術として、U. S. P. 4, 416, 056号がある。この先行技術は、第1層目の複数の導体を一定の間隔で水平に並べてパターンニングし、次に、絶縁膜を介して、複数本の導体を、前記間隔を埋めるようにパターンニングする技術を開示している。

しかし、この先行技術は、第1層目の複数の導体の上面まで絶縁膜によって覆う構造を開示しているので、絶縁膜が存在する分だけ、第1層目の導体の断面積が小さくなる。つまり、上述した先行技術は、第1層目の複数の導体の断面積を最大にする技術を開示していない。

また、上述した先行技術は、ポール部と、バックギャップとに対する導体の相対関係についても、開示がない。導体の配線密度が高くなり、それがヨーク長Y_Lを短くすることに貢献するとしても、導体と、ポール部及びバックギャップとの間の間隔が狭くならないのであれば、ヨーク長Y_Lの短縮化に限界を生じることは明らかである。

更に、導体と、ポール部及びバックギャップとの間の間隔を、単に狭くしさえすればよい、というものではない。なぜなら、導体と、ポール部及びバックギャップとの間の間隔を狭くすると、その間隔が完全には埋められずに、key holeを生じてしまう危険性があるからである。

別の先行技術として、U. S. P 6, 226, 860 B1がある。この先行技術も、上述した問題点を解決する手段は開示していない。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明の課題は、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減した薄膜磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

本発明のもう一つの課題は、ヨーク長を短くし、高周波特性を改善した薄膜

磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

上述した課題を解決するため、本発明に係る薄膜磁気ヘッドでは、書き込み素子に含まれる第1のコイル及び第2のコイルが、下部磁性膜の上に形成された第1の絶縁膜の一面上で、バックギャップ部の周りを、渦巻き状に周回し手いる。第1のコイル及び第2のコイルの一方は、他方のコイルターン間のスペースに、第2の絶縁膜を介して嵌め込まれる。

第1のコイル及び第2のコイルの間に存在する前記第2の絶縁膜は、例えば、Chemical vapor deposition(以下、CVDと称する)を適用して、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の極薄膜の Al_2O_3 膜として形成できる。したがって、バックギャップ部と第1のポール部との間で、第1のコイル及び第2のコイルの断面積を最大化し、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減することができる。これにより、書き込み動作時に、ポール部におけるサーマルプロトリュージョンの発生を抑制し、ヘッドクラッシュ及び磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を回避し、延いては、高記録密度のための低浮上量の要求に応えることができることになる。

第1のコイル及び第2のコイルは、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、第2の絶縁膜を介して嵌め込まれているから、コイル導体の配線密度が高くなる。このため、同一のターン数を保った状態では、ヨーク長 Y_L を短くすることができる。

第1のコイル及び第2のコイルは同一方向の磁束を生じるように接続される。第1のコイル及び第2のコイルは、巻き方向が同一になるので、第1のコイルの内端と、第2のコイルの外端とを接続した直列接続構造をとることにより、同一方向の磁束を生じさせることができる。あるいは、第1のコイル及び第2のコイルを並列に接続して、同一方向の磁束を生じるようにしてもよい。この場合は、ターン数は少なくなるが、コイル抵抗値を低減できる。

前記第1のコイル及び前記第2のコイルのいずれか一方は、前記ポール部及び前記バックギャップ部とは、断面形状で見て、下方で狭く、上方に向かうほど広くなるテーパ角を有して隣接している。この構成によれば、前記第1のコイル及び前記第2のコイルのうち、ポール部及びバックギャップ部と隣接する

コイルを、Key holeを生じることなく形成できるので、信頼性が向上する。

しかも、第1のコイル及び第2のコイルのいずれか一方と、ポール部及びバックギャップ部とは、例えば、CVDを適用して、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の極薄膜となり得る第2の絶縁膜によって隔てられるので、ヨーク長YLの短縮化を、更に促進することができる。

第1のコイル及び第2のコイルは、上面が導体面による同一平面を構成している。この構成によれば、第1のコイル及び第2のコイルの上面に対して、共通の第3の絶縁膜を付与することができるので、第1のコイル及び第2のコイルの上面に対する絶縁構造が簡単化される。また、第1のコイル及び第2のコイルの上に更に他のコイルを形成する際に、安定したベースを提供し、他のコイルを高精度のパターンとして形成することが可能になる。

第1のコイル及び第2のコイルの上に、更に、他のコイルを形成する際は、第1のコイル及び第2のコイルの平坦化とあわせて、ポール片及びバックギャップ片の上面も、コイルの導体面と同一平面となるようにする。こうすることにより、他のコイルを形成する際に必要となるポール片及びバックギャップ片を、平坦化された第1のポール片及びバックギャップ片の上面に、高精度パターンとして形成することができる。

好ましくは、前記第1のコイルは、その断面形状で見て、下方が広く、上方に向かうほど狭くなるテーパ角を有しており、前記第2のコイルは、その断面形状で見て、下方が狭く、上方に向かうほど広くなるテーパ角を有する。この構成によれば、第1のコイルを形成した後、第2のコイルを形成するプロセスを採用することにより、第2のコイルを形成するときに、Key holeが生じるのを回避し、信頼性を向上させることができる。

前記テーパ角は、前記下部磁性膜の前記一面を基準にして、 80 度以上 90 度未満であることが好ましい。この場合、第1のコイルは、メッキ膜であり、下部磁性膜の一面に付着された第1の絶縁膜の上に形成される。第2のコイルも、メッキ膜であり、第1のコイルのコイルターン間に生じるスペース内において、第2の絶縁膜の上に形成される。前記第2の絶縁膜は、前記スペースの

底面及び両側面に形成される。

本発明に係る薄膜磁気ヘッドは、第3のコイルを含んでいてもよい。前記第3のコイルは、前記第1のコイル及び前記第2のコイルの上に、第3の絶縁膜を介して積膜され、前記第3の絶縁膜の面上で、バックギャップ部の周りを、渦巻き状に周回し、第1のコイル及び第2のコイルに対して、同一方向の磁束を生じるように、直列に接続される。この構造によれば、追加的な第3のコイルにより、コイルターン数が増大され、書き込みのための起磁力が増大する。

更に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドは、第3のコイルと、第4のコイルとを含んでいてもよい。前記第3のコイル及び前記第4のコイルは、前記第1のコイル及び前記第2のコイルの上に、第3の絶縁膜を介して積膜され、前記第3の絶縁膜の面上で、バックギャップ部の周りを、渦巻き状に周回し、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、第4の絶縁膜を介して嵌め込まれる。

前記第3のコイル及び前記第4のコイルのいずれか一方は、最外周コイルターンが、前記ポール部と、第4の絶縁膜を介して隣接し、最内周コイルターンが前記バックギャップ部と、第4の絶縁膜を介して隣接している。

上述した態様の薄膜磁気ヘッドでは、第1の態様に関して述べた効果が得られる他、追加的な第3のコイル及び第4のコイルにより、コイルターン数が増大され、書き込みのための起磁力が増大する。

好ましくは、第3のコイル及び第4のコイルのいずれか一方は、ポール部及び前記バックギャップ部と、第4の絶縁膜を介して隣接し、断面形状で見て、下方で狭く、上方に向かうほど広くなるテーパ角を有して隣接する。この構成によれば、前記第3のコイル及び前記第4のコイルのうち、ポール部及びバックギャップ部と隣接するコイルを、Key holeを生じることなく形成できるので、信頼性が向上する。

しかも、第3のコイル及び第4のコイルのいずれか一方と、ポール部及びバックギャップ部とは、例えば、CVDを適用して、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の極薄膜となり得る第4の絶縁膜によって、隔てられるので、ヨーク長YLの短縮化を図り、高周波特性の向上に寄与することができる。

一つの具体的態様として、前記第3のコイルは、その断面形状で見て、下方

が広く、上方に向かうほど狭くなるテーパ角を有し、前記第4のコイルは、その断面形状で見て、下方が狭く、上方に向かうほど広がるテーパ角を有していてもよい。この場合、第4のコイルの最外のコイルターンが、前記ポール及び前記バックギャップ部に隣接する。この構成によれば、第3のコイルを形成した後、第4のコイルを形成するプロセスを採用することにより、第4のコイルを形成するときに、Key holeが生じるのを回避し、信頼性を向上させることができる。

前記テーパ角は、前記第3の絶縁膜の前記一面を基準にして、80度以上90度未満であることが好ましい。前記第3のコイルは、メッキ膜であり、前記第3の絶縁膜の上に形成される。前記第4のコイルも、メッキ膜であり、前記スペース内において、第4の絶縁膜の上に形成される。前記第4の絶縁膜は、前記スペースの底面及び両側面に形成される。

上述した薄膜磁気ヘッドのうち、第1のコイル及び第2のコイルを有する第1の態様に係る薄膜磁気ヘッドは、次のプロセスによって製造できる。

まず、下部磁性膜の一面上に形成された第1の絶縁膜の上に、第1のコイル、第1のポール片及び第1のバックギャップ片を形成する。これらは、断面形状で見て、下方で広く、上方に向かうほど狭くなるテーパ角を有するように形成する。

次に、前記第1のコイル、前記第1のポール片及び前記第1のバックギャップ片の周りに、第2の絶縁膜を付着させ、更に、前記第2の絶縁膜の上に第1のSeed膜を付着させる。

次に、第2のコイルの形成領域内において、前記第1のSeed膜の上に前記第1のポール片と前記第1のコイルの最外ターンとの間、前記第1のコイルのコイルターン間、および、前記第1のコイルの最内周ターンと前記第1のバックギャップ片との間のスペースを埋めるように、第2のコイルのためのメッキ膜を成長させる。

次に、前記メッキ膜を研磨して平坦化し、パターン化された第2のコイルを得る。

第1のコイル及び第2のコイルに加えて、第3のコイルを有する薄膜磁気ヘ

ッドを製造するためのプロセスは、次のようになる。

まず、前記第 2 のコイルをパターン化するための平坦化処理を施した後、平坦化面上に、第 3 の絶縁膜をパターン形成する。第 3 の絶縁膜は、第 3 のコイルを形成する領域よりも少し広い領域を覆い、第 1 のポール片及び第 1 のバックギャップ片は覆わないパターンとなるように形成する。

そして、第 3 の絶縁膜の上に第 3 のコイルを形成するとともに、第 1 のポール片上に第 2 のポール片を形成し、第 1 のバックギャップ片の上に第 2 のバックギャップ片を形成する。

第 1 のコイル及び第 2 のコイルに加えて、第 3 のコイル及び第 4 のコイルを有する薄膜磁気ヘッドを製造するためのプロセスは、次のようになる。

まず、第 3 のコイル、第 2 のポール片及び第 2 のバックギャップ片を形成した後、前記第 3 のコイル、前記第 2 のポール片及び前記第 2 のバックギャップ片の表面、並びに、その周りに、第 4 の絶縁膜を付着させ、更に、前記第 4 の絶縁膜の上に第 2 の S e e d 膜を付着させる。

次に、第 4 のコイルの形成領域内において、前記第 2 の S e e d 膜の上に前記第 2 のポール片と前記第 3 のコイルの最外ターンとの間、前記第 3 のコイルのコイルターン間、および、前記第 3 のコイルの最内周ターンと前記第 2 のバックギャップ片との間のスペースを埋めるように、第 4 のコイルのためのメッキ膜を成長させる。

次に、前記メッキ膜を覆う絶縁膜を付着させた後、前記メッキ膜を研磨して平坦化し、パターン化された第 4 のコイルを得る。

前記第 3 のコイル、第 2 のポール片及び第 2 のバックギャップ部は、断面形状で見て、下方で広く、上方に向かうほど狭くなるテーパ角を有するように形成することができる。この場合、前記第 3 のコイルは C u の電解メッキ法によって形成し、前記第 4 のコイルのためのメッキ膜は C u の電解メッキ法によって形成するのが望ましい。

上述した 3 つの態様に係る製造方法は、次のような共通の技術的事項を含むことができる。

まず、前記第 1 及び第 2 の S e e d 膜は、スパッタによって形成された C u

膜と、CVDによって形成されたCu膜とを含むことができる。

前記第2及び第4のコイルは、スパッタによって形成されたCu膜と、CVDによって形成されたCu膜とを含む膜を、第2のSeed膜とし、その上にCu電解メッキを施すことによって形成することができる。

第1～第4の絶縁膜は、限定するものではないが、アトミックレイヤー法によって形成されたアルミナCVD膜である。この場合、前記絶縁膜は、膜厚が50nm～150nmの範囲になる。

前記テーパ角は、フォトリソグラフィ工程におけるフォーカス位置の選定によって決定することもできるし、イオン、ビーム、エッチングによって決定することもできる。

本発明は、更に、薄膜磁気ヘッドとヘッド支持装置とを組み合わせた磁気ヘッド装置、及び、この磁気ヘッド装置と磁気記録媒体（ハードディスク）とを組み合わせた磁気記録再生装置についても開示する。

本発明の他の目的、構成及び利点については、添付図面を参照し、更に詳しく説明する。図面は単なる例示にすぎない。

BRIEF DESCRIPTION OF DRAWINGS

図1は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドを、ABS側から見た図；

図2は、図1に示した薄膜磁気ヘッドの断面図；

図3は、図1、図2に示した薄膜磁気ヘッドの電磁変換部分の構造を、拡大して示す断面図；

図4は、図3に示した電磁変換部分をABS側から見た図；

図5は、図3及び図4に示した電磁変換部分の内、書き込み素子の部分を切り取って示す斜視図；

図6は、図3乃至図5に示した電磁変換部分における書き込み素子のコイル構造を示す平面図；

図7は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの電磁変換部分について、別の実施例を、拡大して示す断面図；

図8は、図7に示した電磁変換部分をABS側から見た図；

図9は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの電磁変換部分について、更に別の実

施例を、拡大して示す断面図；

図 1 0 は、図 9 に示した電磁変換部分を A B S 側から見た図；

図 1 1 は、図 3 乃至図 6 に示した電磁変換部を持つ薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図；

図 1 2 は、図 1 1 に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 3 は、図 1 2 に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 4 は、図 1 3 に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 5 は、図 1 4 に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 6 は、図 1 5 に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 7 は、図 1 6 に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 8 は、図 1 7 に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 9 は、図 1 8 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 0 は、図 1 9 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 1 は、図 2 0 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 2 は、図 2 1 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 3 は、図 2 2 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 4 は、図 2 3 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 5 は、図 2 4 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 6 は、図 2 5 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 7 は、図 2 6 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 8 は、図 2 7 に示した工程の後の工程を示す図；

図 2 9 は、図 2 8 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 0 は、図 2 9 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 1 は、図 3 0 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 2 は、図 3 1 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 3 は、図 3 2 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 4 は、図 3 3 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 5 は、図 3 4 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 6 は、図 3 5 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 7 は、図 3 6 に示した工程の後の工程を示す図；

図 3 8 は、図 3 7 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；

図 3 9 は、図 3 7、図 3 8 に示した工程の後の工程を示す図；

図 4 0 は、図 3 9 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；

図 4 1 は、図 3 9、図 4 0 に示した工程の後の工程を示す図；

図 4 2 は、図 4 1 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；

図 4 3 は、図 4 1、図 4 2 に示した工程の後の工程を示す図；

図 4 4 は、図 4 3 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；

図 4 5 は、図 7 及び図 8 に示した電磁変換部を有する薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図；

図 4 6 は、図 4 5 に示した工程の後の工程を示す図；

図 4 7 は、図 4 6 に示した工程の後の工程を示す図；

図 4 8 は、図 4 7 に示した工程の後の工程を示す図；

図 4 9 は、図 4 8 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 0 は、図 4 9 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 1 は、図 5 0 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 2 は、図 5 1 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 3 は、図 5 2 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 4 は、図 5 3 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 5 は、図 5 4 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 6 は、図 5 5 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 7 は、図 5 6 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 8 は、図 5 7 に示した工程の後の工程を示す図；

図 5 9 は、図 5 8 に示した工程の後の工程を示す図；

図 6 0 は、図 5 9 に示した工程の後の工程を示す図；

図 6 1 は、図 6 0 に示した工程の後の工程を示す図；
図 6 2 は、図 6 1 に示した工程の後の工程を示す図；
図 6 3 は、図 6 2 に示した工程の後の工程を示す図；
図 6 4 は、図 6 3 に示した工程の後の工程を示す図；
図 6 5 は、図 6 4 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；
図 6 6 は、図 6 4、図 6 5 に示した工程の後の工程を示す図；
図 6 7 は、図 6 6 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；
図 6 8 は、図 9 及び図 1 0 に示した電磁変換部を有する薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図；
図 6 9 は、図 6 8 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 0 は、図 6 9 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 1 は、図 7 0 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 2 は、図 7 1 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 3 は、図 7 2 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 4 は、図 7 3 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 5 は、図 7 4 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 6 は、図 7 5 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；
図 7 7 は、図 7 5、図 7 6 に示した工程の後の工程を示す図；
図 7 8 は、図 7 7 に示した工程を経て得られた書き込み素子を、A B S 側から見た図；
図 7 9 は、テーパ角付与工程を示す図；
図 8 0 は、図 7 9 に示した工程の後の工程を示す図；
図 8 1 は、図 8 0 に示した工程の後の工程を示す図；
図 8 2 は、図 8 1 に示した工程の後の工程を示す図；
図 8 3 は、図 8 2 に示した工程の後の工程を示す図；
図 8 4 は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドを用いた磁気ヘッド装置の正面図；

図 8 5 は、図 8 4 に示した磁気ヘッド装置を底面側（A B S 側）から見た図；及び

図 8 6 は、本発明に係る薄膜磁気ヘッド及び磁気ヘッド装置と磁気記録媒体とを組み合わせた磁気記録再生装置を概略的に示す斜視図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

1. 薄膜磁気ヘッド

図 1 ～図 4 を参照すると、本発明に係る薄膜磁気ヘッドは、スライダ 5 と、書き込み素子 2 と、読み取り素子 3 とを含む。スライダ 5 は、例えば、 Al_2O_3-TiC 等である基体 1 5 の表面に、 Al_2O_3 、 SiO_2 等の絶縁膜 1 6 を設けた（図 3 参照）セラミック構造体である。スライダ 5 は、媒体対向面に浮上特性制御用の幾何学的形状を有している。そのような幾何学的形状の代表例として、図示では、A B S 側の基底面 5 0 に、第 1 の段部 5 1、第 2 の段部 5 2、第 3 の段部 5 3、第 4 の段部 5 4、及び、第 5 の段部 5 5 を備える例を示してある。基底面 5 0 は、矢印 A で示す空気の流れ方向に対する負圧発生部となり、第 2 の段部 5 2 及び第 3 の段部 5 3 は、第 1 の段部 5 1 から立ち上がるステップ状の空気軸受けを構成する。第 2 の段部 5 2 及び第 3 の段部 5 3 の表面は、A B S となる。第 4 の段部 5 4 は、基底面 5 0 からステップ状に立ち上がり、第 5 の段部 5 5 は第 4 の段部 5 4 からステップ状に立ちあがっている。電磁変換素子 2、3 は第 5 の段部 5 5 に設けられている。

電磁変換素子 2、3 は、書き込み素子 2 と、読み取り素子 3 とを含む。書き込み素子 2 及び読み取り素子 3 は、空気の流れ方向 A で見て、空気流出端（トレーリング・エッジ）の側に備えられている。

図 3、図 4 を参照するに、書き込み素子 2 は、下部磁性膜 2 1 1 と、上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 と、アルミナ等であるギャップ膜 2 4 と、第 1 のポール部 P 1 と、第 2 のポール部 P 2 と、第 1 のコイル 2 3 1 と、第 2 のコイル 2 3 2 とを有している。下部磁性膜 2 1 1 及び上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 における「下部」及び「上部」という表現は、図示実施例を参照する限りの表現であって、下部磁性膜 2 1 1 及び上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 の上下関係が、逆転する場合もありえる。

下部磁性膜 2 1 1 は、絶縁膜 3 4 によって支持され、その表面は実質的に平坦な平面となっている。絶縁膜 3 4 は、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 AlN または DLC 等の無機絶縁材料によって構成される。上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 は、下部磁性膜 2 1 1 とはインナーギャップを介して向き合っている。

下部磁性膜 2 1 1 及び上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 は、例えば、 NiFe 、 CoFe 、 CoFeN 、 CoNiFe 、 FeN または FeZrN 等の磁性材料から選択することができる。下部磁性膜 2 1 1 及び上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 のそれぞれは、各膜厚が、例えば、 $0.25 \sim 3 \mu\text{m}$ の範囲に設定される。このような下部磁性膜 2 1 1、上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 はフレイムメッキ法によって形成できる。

図示実施例において、下部磁性膜 2 1 1 は、 CoFeN または CoNiFe のいずれかによって構成するものとする。また、上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 は、下部磁性膜 2 1 1 を第 1 の磁性膜と称したとき、第 2 の磁性膜 2 2 1 と、第 3 の磁性膜 2 2 2 とを積膜した構造を有する。以下の説明において、説明の都合上、下部磁性膜 2 2 1 は第 1 の磁性膜と称し、上部磁性膜 2 2 1、2 2 2 を構成する 2 つの磁性膜 2 2 1、2 2 2 は、それぞれ、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 と称することとする。第 2 の磁性膜 2 2 1 は CoNiFe によって構成し、第 3 の磁性膜 2 2 2 は飽和磁束密度の高い CoFeN で構成することができる。

第 1 の磁性膜 2 1 1、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 の先端部は、微小厚みのギャップ膜 2 4 を隔てて対向する第 1 のポール部 P 1 及び第 2 のポール部 P 2 の一部を構成しており、第 1 のポール部 P 1 及び第 2 のポール部 P 2 において書き込みを行なう。ギャップ膜 2 4 は、非磁性金属膜またはアルミナ等の無機絶縁膜によって構成される。

図示実施例において、第 1 のポール部 P 1 は、第 1 の磁性膜 2 1 1 の上に、ポール片 2 1 2、ポール片 2 1 3 及びポール片 2 1 4 を、この順序で積膜した構造を有する。ポール片 2 1 2、ポール片 2 1 3 及びポール片 2 1 4 は、 CoFeN または CoNiFe のいずれかによって構成することができる。

第 2 のポール部 P 2 は、ギャップ膜 2 4 の上に、ポール片 2 2 3 を積膜し、

ポール片 2 2 3 の上に、第 3 の磁性膜 2 2 2 の端部によって構成される第 7 のポール片及び第 2 の磁性膜 2 2 1 の端部によって構成される第 8 のポール片を、順次に積膜した構造となっている。

図 4 を参照すると、第 1 の磁性膜 2 1 1 の端部、ポール片 2 1 2 及びポール片 2 1 3 は、ABS のトラック幅方向に広がりを見せているが、ポール片 2 1 4 は、その上端側が、両側から、狭トラック幅 PW となるように削減されており、その上に積膜されているギャップ膜 2 4、ポール片 2 2 3、第 3 の磁性膜 2 2 2 の端部及び第 2 の磁性膜 2 2 1 の端部も、ポール片 2 1 4 とほぼ同じ狭トラック幅 PW となっている。これにより、高密度記録に対応した狭トラック幅 PW が得られる。

第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 は、更に、第 1 の磁性膜 2 1 1 との間にインナーギャップを保って、ABS 5 2、5 3 の後方に延び、バックギャップ片 2 1 6、2 1 7、2 1 8 及びバックギャップ片 2 2 4 において、第 1 の磁性膜 2 1 1 に結合されている。これにより、第 1 の磁性膜 2 1 1、第 2 の磁性膜 2 2 1、第 3 の磁性膜 2 2 2 及びギャップ膜 2 4 を巡る薄膜磁気回路が完結する。

インナーギャップは、絶縁膜 2 5 4 ~ 2 5 7 によって埋められており、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 によって構成される上部磁性膜は、絶縁膜 2 5 7 の上に形成されている。

次に、図 6 を参照すると、第 1 及び第 2 のコイル 2 3 1、2 3 2 は、バックギャップ片 2 1 6、2 1 7、2 1 8 及びバックギャップ片 2 2 4 の周りを周回している。

第 1 のコイル 2 3 1 は、スパイラル状であって、第 1 の磁性膜 2 1 1 の平坦な一面に形成された絶縁膜 2 5 1 の面上に配置され、絶縁膜 2 5 1 の面に対して垂直となる 1 つの軸の周りを平面状に周回する。第 1 のコイル 2 3 1 は、Cu (銅) などの導電金属材料によって構成される。絶縁膜 2 5 1 は、 Al_2O_3 、 SiO_2 、AlN または DLC 等の無機絶縁材料によって構成される。

第 2 のコイル 2 3 2 もスパイラル状であって、第 1 のコイル 2 3 1 のコイルターン間のスペースに、絶縁膜 2 5 2 を介して嵌め込まれ、軸の周りを平面状

に周回する。第2のコイル232も、Cu（銅）などの導電金属材料によって構成される。絶縁膜252も、 Al_2O_3 、 SiO_2 、AlNまたはDLC等の無機絶縁材料によって構成される。

第1のコイル231及び第2のコイル232の周りは、絶縁膜253によって埋められている（図3参照）。絶縁膜253も、 Al_2O_3 、 SiO_2 、AlNまたはDLC等の無機絶縁材料によって構成される。

第1のコイル231及び第2のコイル232の間に存在する絶縁膜252は、例えば、CVDを適用して、 $0.1\mu m$ 程度の極薄膜の Al_2O_3 膜として形成できる。したがって、バックギャップ片216～218、224とポール部P1、P2との間で、第1のコイル231及び第2のコイル232の断面積を最大化し、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減することができる。これにより、書き込み動作時に、ポール部P1、P2におけるサーマルプロトリュージョンの発生を抑制し、ヘッドクラッシュ及び磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を回避し、延いては、高記録密度のための低浮上量の要求に応えることができることになる。

第2のコイル232は、第1のコイル231のコイルターン間のスペースに、絶縁膜252を介して嵌め込まれているから、コイル導体の配線密度が高くなる。このため、同一のターン数を保った状態では、ヨーク長YL（図3参照）を短くすることができる。

第1のコイル231及び第2のコイル232は同一方向の磁束を生じるように接続される。第1のコイル231及び第2のコイル232は、巻き方向が同一になるので、第1のコイル231の内端281と、第2のコイル232の外端283とを、接続導体282で接続した直列接続構造をとることにより、同一方向の磁束を生じさせることができる。第1のコイル231の外端286は接続導体285により端子284に接続され、更に、リード導体291により外部に導かれ、取り出し電極29（図1参照）に接続される。第2のコイル232の内端287は接続導体288により、端子289に接続され、更に、リード導体292により外部に導かれ、取り出し電極30（図1参照）に接続される。

図6の図示とは異なって、第1のコイル231及び第2のコイル232を並列に接続して、同一方向の磁束を生じるようにしてもよい。この場合は、ターン数は少なくなるが、コイル抵抗値を低減できる。

第1のコイル231及び第2のコイル232のいずれか一方は、第1のポール部P1を構成するポール片212及びバックギャップ片216と、断面形状で見て、下方で狭く、上方に向かうほど広くなるテーパ角を有して隣接している。図示実施例では、第2のコイル232が、第1のポール部P1を構成するポール片212と、バックギャップ片216とに対して、断面形状で見て、下方で狭く、上方に向かうほど広くなるテーパ角 $\theta 1$ を有して隣接している。

テーパ角 $\theta 1$ を有する構成によれば、第1のコイル231及び第2のコイル232のうち、ポール片212及びバックギャップ片216と隣接する第2のコイル232を、Key holeを生じることなく形成できるので、信頼性が向上する。

しかも、第2のコイル232と、ポール片212及びバックギャップ片216とは、例えば、CVDを適用して、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の極薄膜となり得る絶縁膜252によって隔てられるので、ヨーク長YLの短縮化を、更に促進することができる。

第1のコイル231及び第2のコイル232は、上面が導体面による同一平面を構成している。この構成によれば、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対して、共通の絶縁膜254を付与することができるので、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対する絶縁構造が簡単化される。また、第1のコイル231及び第2のコイル232の上に、平坦な安定したベース面を形成し、その後に高精度のパターンを形成することができる。

図示実施例において、第1のコイル231は、その断面形状で見て、下方が広く、上方に向かうほど狭くなるテーパ角 $\theta 2$ を有している。第2のコイル232は、第1のコイル231のコイルターン間のスペースを、絶縁膜252を介して埋めているので、第1のコイル231の断面形状を反映し、その断面形状で見て、下方が狭く、上方に向かうほど広くなるテーパ角 $\theta 3$ ($=\theta 2$) を有する。この構成によれば、第1のコイル231を形成した後、第2のコイル

232を形成するプロセスを採用することにより、第2のコイル232を形成するときに、Key holeが生じるのを回避し、信頼性を向上させることができる。

テーパ角 $\theta_1 \sim \theta_3$ は、第1の磁性膜211又は絶縁膜251の一面を基準にして、80度以上90度未満であることが好ましい。この場合、第1のコイル231は、メッキ膜であり、第1の磁性膜211の一面に付着された絶縁膜251の上に形成される。第2のコイル232も、メッキ膜であり、第1のコイル231のコイルターン間に生じるスペース内において、絶縁膜252の上に形成される。絶縁膜252は、スペースの底面及び両側面に形成される。

保護膜258は、書き込み素子2の全体を覆っている。保護膜258は、 Al_2O_3 または SiO_2 等の無機絶縁材料で構成されている。

読み取り素子3の付近には、第1のシールド膜31と、絶縁膜32と、第2のシールド膜33とが備えられている。第1のシールド膜31及び第2のシールド膜33は、NiFe等によって構成される。第1のシールド膜31は、 Al_2O_3 、 SiO_2 等の絶縁膜16の上に形成されている。絶縁膜16は Al_2O_3-TiC 等となる基体15の表面に形成されている。

読み取り素子3は、第1のシールド膜31及び第2のシールド膜33の間の絶縁膜32の内部に配置されている。読み取り素子3は、端面がABS52、53に臨んでいる。読み取り素子3は、巨大磁気抵抗効果素子（GMR素子）を含む。GMR素子は、スピンバルブ膜または強磁性トンネル接合素子の何れかによって構成することができる。

次に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの別の実施例について、図7、図8を参照して説明する。図7及び図8において、図1～図6に表れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。図示実施例の薄膜磁気ヘッドは、第1のコイル231～第3のコイル233を含んでいる。第1のコイル231及び第2のコイル232は、図1～図6に示した実施例と同様の構成である。

第3のコイル233は、第1のコイル231及び第2のコイル232の上に、絶縁膜254を介して積膜され、絶縁膜254の面上で、バックギャップ片2

24の周りを、渦巻き状に周回している。第3のコイル233は、第1のコイル231及び第2のコイル232に対して、同一方向の磁束を生じるように、直列に接続されている。例えば、図6において、第2のコイル232の外端283に第3のコイル233の外端を接続し、第3のコイル233を第2のコイル232と同一方向に周回させ、その内端を、第1のコイル231の内端281と接続させる。

図7、図8の実施例では、第3のコイル233のコイルターン間は、絶縁膜271によって絶縁し、絶縁膜271の周囲を、絶縁膜255によって覆っている。絶縁膜271は、有機絶縁樹脂または無機絶縁樹脂のいずれによって構成してもよい。実施例は、有機絶縁樹脂で構成した例を示している。絶縁膜255は Al_2O_3 または SiO_2 等の無機絶縁材料によって構成することができる。

図7、図8の実施例において、第1のコイル231及び第2のコイル232は、図1～図6に示した実施例と同様の構成であり、したがって、同様の利点を得られるほか、追加的な第3のコイル233を有することにより、コイルターン数が増大され、書き込みのための起磁力が増大する。

更に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの別の実施例について、図9、図10を参照して説明する。図9、図10において、図1～図6に表れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。図示実施例の薄膜磁気ヘッドは、第1のコイル231～第4のコイル234を含んでいる。第1のコイル231及び第2のコイル232は、図1～図6に示した実施例と同様の構成である。

第3のコイル233及び第4のコイル234は、第1のコイル231及び第2のコイル232の上に、絶縁膜272を介して積膜され、絶縁膜272の面上で、バックギャップ片216の周りを、渦巻き状に周回し、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、絶縁膜273を介して嵌め込まれる。

第4のコイル234は、最外周コイルターンが第2のポール部P2と絶縁膜273を介して隣接し、最内周コイルターンがバックギャップ片216と絶縁膜273を介して隣接している。

上述した態様の薄膜磁気ヘッドでは、第1のポール部P1を構成するポール片213、バックギャップ片217、第3のコイル233及び第4のコイル234に関して、第1のポール部P1を構成するポール片212及びバックギャップ片216、第1のコイル231及び第2のコイル232について述べた作用及び効果が得られる他、追加的な第3のコイル233及び第4のコイル234により、コイルターン数が増大され、書き込みのための起磁力が増大する。

図示実施例において、第4のコイル234は、第1のポール部P1を構成するポール片213及びバックギャップ片217と、絶縁膜273を介して隣接し、断面形状で見て、下方で狭く、上方に向かうほど広くなるテーパ角を有して隣接する。この構成によれば、第1のポール部P1のポール片213及びバックギャップ片217と隣接する第4のコイル234を、Key holeを生じることなく形成できるので、信頼性が向上する。

しかも、第4のコイル234と、第1のポール部P1を構成するポール片213及びバックギャップ片217とは、例えば、CVDを適用して、0.1 μ m程度の極薄膜となり得る絶縁膜273によって隔てられるので、ヨーク長YLの短縮化を図り、高周波特性の向上に寄与することができる。

一つの具体的態様として、第3のコイル233は、その断面形状で見て、下方が広く、上方に向かうほど狭くなるテーパ角を有し、第4のコイル234は、その断面形状で見て、下方が狭く、上方に向かうほど広くなるテーパを有していてもよい。この場合、第4のコイル234の最外のコイルターンが、ポール片213及びバックギャップ片217に隣接する。この構成によれば、第3のコイル233を形成した後、第4のコイル234を形成するプロセスを採用することにより、第4のコイル234を形成するときに、Key holeが生じるのを回避し、信頼性を向上させることができる。

テーパ角は、絶縁膜272の一面を基準にして、80度以上90度未満であることが好ましい。この場合は、第3のコイル233は、メッキ膜であり、絶縁膜272の上に形成される。第4のコイル234も、メッキ膜であり、スペース内において、スペースの底面及び側面に付着された絶縁膜273の上に形成されている。

2. 薄膜磁気ヘッドの製造方法

(1) 実施例 1

製造方法に係る実施例 1 は、上述した薄膜磁気ヘッドのうち、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 を有する第 1 の態様に係る薄膜磁気ヘッド（図 1 ～図 6）の製造プロセスである。図 1 1 ～図 4 4 に図示するプロセスは、ウエハー上で実行されるものであることを予め断っておく。

まず、図 1 1 を参照すると、基体 1 5 の上に付着された絶縁膜 1 6 の上に、第 1 のシールド膜 3 1、読み取り素子 3、絶縁膜 3 2、第 2 のシールド膜 3 3、絶縁膜 3 4 及び第 1 の磁性膜 2 1 1 を、周知のプロセスによって形成する。その後、第 1 の磁性膜 2 1 1 の平坦な表面に、コイル形成に要する面積よりも少し大きい面積で、絶縁膜 2 5 1 を形成し、絶縁膜 2 5 1 の表面に S e e d 膜 2 6 0 を形成する。S e e d 膜 2 6 0 は、絶縁膜 2 5 1 の表面及び第 1 の磁性膜 2 1 1 の表面を覆うように形成する。S e e d 膜 2 6 0 は、C u メッキ下地膜として適切な材料を用い、C u - C V D の適用によって、5 0 n m ～ 8 0 n m の膜厚となるように形成する。

次に、S e e d 膜 2 6 0 の上にフォトレジスト膜 R S 1 を、スピンコート法などの適用によって形成した後、コイルパターンを有するマスク M S K を用いて露光し、現像する。フォトレジスト膜 R S 1 は、ポジティブフォトレジスト、ネガティブフォトレジストの何れでもよい。実施例では、ポジティブフォトレジストを用いた場合を例にとって説明する。

上述したフォトリソグラフィ工程において、露光機（ステッパ）の焦点深度が、S e e d 膜 2 6 0 よりも下の位置となるマイナスフォーカスとなるように調整する。これにより、フォトレジスト膜 R S 1 は、下層が広く、上層が狭くなるように露光される。マイナスフォーカスは、S e e d 膜 2 6 0 の表面を基準にして、0 ～ 0. 5 μ m の範囲又は 0 ～ 1. 2 μ m の範囲に設定する。

上述した露光工程を経て現像することにより、図 1 2 に示すように、下層が広く、上層が狭くなるコイル形成用パターン S 1 が得られる。コイル形成用パターン S 1 は、レジストフレーム F R 1 によって画定されている。

次に、選択的 C u メッキ処理を実行し、コイル形成用パターン S 1 の内部に

存在するSeed膜260の上に、第1のコイル231を、例えば3～3.5 μm の厚みとなるように成長させる。第1のコイル231は、コイル形成用パターンS1の形状に従い、断面形状で見て、下層が広く、上層が狭くなるように形成される。図13は、上記選択的Cuメッキ処理終了後の状態を示している。

次に、レジストフレームFR1を、ケミカルエッチングなどの手段によって除去した後、ポール片及びバックギャップ片を形成するためのフォトリソグラフィ工程を実行して、ポール片及びバックギャップ片のためのレジストフレームを形成する。このフォトリソグラフィ工程においても、露光機の焦点深度を、第1の磁性膜211よりも下の位置となるマイナスフォーカスとなるように調整する。これにより、フォトレジスト膜RS1は、下層が広く上層が狭くなるように露光される。

次に、選択的メッキ処理を行い、第1の磁性膜211の上にポール片及びバックギャップ片を成長させ、その後、レジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去する。これにより、図14に示すように、第1の磁性膜211の一面上に、ポール片212及びバックギャップ片216が間隔を隔てて形成される。ポール片212及びバックギャップ片216は、断面形状で見て、下層が広く、上層が狭くなるように形成される。ポール片212及びバックギャップ片216にイオン・ビーム・エッチングを実行することによって、下層が広く、上層が狭くなるように形成することも可能である。

次に、図15に示すように、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216を覆うフォトレジスト膜RS2を形成する。この後、フォトレジスト膜RS2に対してフォトリソグラフィ工程を実行し、図16に示すように、第1のコイル231及びその周囲を覆うレジストカバーFR2を形成し、更に、レジストカバーFR2の全体を覆う絶縁膜253を付着させる。絶縁膜253は、4～5 μm の範囲の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜253及びレジストカバーFR2を、Chemical Mechanical Polishing（以下、CMPと称する）によって研磨し、平坦化する。CMPにあたっては、アルミナ系スラリーを用いる。図17はCMP処理を施した後の状

態を示している。

次に、レジストカバーFR2を除去した後、図18に図示するように、絶縁膜251、253、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216の表面及び側面に、絶縁膜252を付着させる。絶縁膜252は、具体的には、 Al_2O_3 -CVDによって形成されるもので、 $0.1\mu m$ 程度の膜厚となるように形成する。

次に、図19に図示するように、絶縁膜252の表面に、Cu-CVDによって、 $0.05\sim 0.1\mu m$ の範囲の膜厚となるように、Seed膜261を付着させる。

次に、図20に図示するように、Seed膜261の上に、第2のコイルとなるメッキ膜232を、 $5\mu m$ の膜厚となるように形成する。メッキ膜232は、Cuを主成分とする。

次に、図21に図示するように、メッキ膜232をCMPによって研磨し、平坦化する。CMPにあたっては、アルミナ系スラリーを用いる。これにより、第2のコイル232が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第1のコイル231から、絶縁膜252によって分離される。CMPにおいては、ポール片212、バックギャップ片216および絶縁膜253の表面も、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面と同一の平面となるように研磨される。

次に、図22に図示するように、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面を覆う絶縁膜254を付着させる。絶縁膜254は、 Al_2O_3 であり、例えば、 $0.2\mu m$ の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜254を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、第1のコイル231の内端281と第2のコイル232の外端283(図6参照)とを接続する接続導体281のためのレジストフレームを形成し、得られたレジストフレームによって画定されたパターンにしたがって、接続導体281をフレームメッキ法によって形成する。その厚みは、例えば、 $1.0\sim 1.8\mu m$ である。

次に、接続導体281を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を

実行し、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7（図 7 参照）のためのレジストフレームを形成し、得られたレジストフレームによって画定されたパターンにしたがって、フレームメッキ法を実行し、図 2 4 に図示するように、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 を形成する。ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 を形成した後は、レジストフレームは除去する。図 2 4 は、レジストフレーム除去後の状態を示している。ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 は、CoFe 又は CoNiFe のメッキ膜であり、例えば、1 ～ 2 μm の範囲の膜厚を有する。

次に、図 2 5 に図示するように、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 を形成してある表面に、 Al_2O_3 でなる絶縁膜 2 5 5 を、例えば、2 ～ 3 μm の膜厚となるように付着させた後、図 2 6 に図示するように、絶縁膜 2 5 5、ポール片 2 1 3、バックギャップ片 2 1 7 及び接続導体 2 8 1 の表面を、CMP によって研磨する。この CMP は、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の膜厚が、例えば、0.2 ～ 0.6 μm の範囲となるように実行する。

次に、図 2 7 に図示するように、絶縁膜 2 5 5、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の被研磨面に、ポール片 2 1 4（図 3 参照）のための磁性膜 2 1 4 を、例えば、0.5 μm の膜厚となるように形成する。磁性膜 2 1 4 は、CoFeN によって構成することができる。

次に、図 2 8 に図示するように、磁性膜 2 1 4 の表面に、フォトリソリスト膜 RS 3 を塗布し、フォトリソグラフィ工程を実行する。このフォトリソグラフィ工程では、図 2 9 に示すように、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の上に、T 型のレジストカバー FR 3 が残るようにパターンニングされる。そして、レジストカバー FR 3 をマスクとして、磁性膜 2 4 1 を IBE の適用によってパターンニングする。これにより、図 2 9 に図示するように、ポール片 2 1 4 と、バックギャップ片 2 1 8 が形成される。

次に、図 3 0 に図示するように、 Al_2O_3 でなる絶縁膜 2 5 6 を、例えば、0.6 μm の膜厚となるように、スパッタなどの手段によって付着させる。この後、ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 の上にレジストカバー FR 3 を除去し、更に、図 3 1 に図示するように、絶縁膜 2 5 6、ポール片 2 1 4

及びバックギャップ片 2 1 8 の表面を、CMP によって研磨し、より完全に平坦化する。このときの CMP は、例えば、 $0.03 \sim 0.05 \mu\text{m}$ の研磨量となるように、軽く行なう。

次に、図 3 2 に図示するように、ポール片 2 1 4 の平坦化面、絶縁膜 2 5 6 の平坦化面に、パターン化されたギャップ膜 2 4 を形成する。ギャップ膜 2 4 は、 Al_2O_3 、Ru、NiCu、Ta などの非磁性材料によって、例えば、 $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成される。

次に、図 3 3 に図示するように、ギャップ膜 2 4、バックギャップ片 2 1 8 及び絶縁膜 2 5 6 の表面を覆うように、磁性膜 2 2 3 を付着させる。磁性膜 2 2 3 は、ポール片 2 2 3 及びバックギャップ片 2 2 4 を形成するために利用されるものであって、CoFeN などの磁性材料を用い、例えば、 $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

次に、図 3 4 に図示するように、磁性膜 2 2 3 の表面に、フォトリソグラフィ工程により、T 型のレジストカバー FR 4 を形成する。レジストカバー FR 4 は、ポール片 2 1 2 ~ 1 4 の上、及び、バックギャップ片 2 1 6 ~ 2 1 8 の上に位置するように形成する。この後、IBE を実行することにより、図 3 5 に図示するように、ポール片 2 2 3、ギャップ膜 2 4 及びバックギャップ片 2 2 4 を所定の形状にパターンニングする。この IBE では、ポール片 2 2 3 を、例えば、0 度と、75 度の角度のイオンビームで、 $0.3 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の深さだけエッチングし、更に、ギャップ膜 2 4 に至るまで、又は、ギャップ膜 2 4 の下のポール片 2 1 4 に到達するまで、エッチングするように実行することができる。この後、図 3 6 に図示するように、IBE でエッチングした深さを埋めるように、絶縁膜 2 5 7 を付着させる。

次に、レジストカバー FR 4 を除去した後、絶縁膜 2 5 7、ポール片 2 2 3、バックギャップ片 2 2 4 の表面を、CMP により、例えば、 $30 \sim 80 \text{nm}$ の範囲で研磨して平坦化する。その後、図 3 7 に図示するように、平坦化された表面に、CoFeN などとなる第 3 の磁性膜 2 2 2 を、 $50 \text{nm} \sim 500 \text{nm}$ の範囲の膜厚となるように、スパッタなどの手段によって付着させた後、この第 3 の磁性膜 2 2 2 を Seed 膜として、その表面に、CoNiFe となる第

2の磁性膜221を、選択的にメッキする。メッキ膜厚は、例えば、3.0～3.5 μm の範囲である。

次に、第2の磁性膜221を、IBEによってエッチングする。このエッチング処理によって、第2の磁性膜221は、第2のポール部P2におけるトラック幅が、図38に図示するように狭幅化される。

次に、図39、図40に図示するように、第3の磁性膜222、ポール片223及びギャップ膜24を、IBEによってエッチングする。このエッチング処理によって、第3の磁性膜222、ポール片223及びギャップ膜24のトラック幅が、図40に図示するように狭幅化される。

次に、図41、図42に図示するように、ポール片214を、IBEによってエッチングする。このエッチング処理によって、ギャップ膜24と隣接するポール片214のトラック幅が、図42に図示するように狭幅化される。ポール片214のエッチング深さは、例えば、0.3～0.35 μm の範囲に設定される。

この後、図43、44に図示するように、 Al_2O_3 でなる保護膜258を、20～40 μm の範囲の厚みとなるように付着させる。

以上の工程は、ウエハ上で実行される。この後、ウエハからのバー状ヘッド集合体の切り出し、スロートハイト設定のための研磨、及び、ABS加工などの周知の後加工が実行される。図43、44はスロートハイト設定のための研磨が終了した後の状態を示している。

以上、具体的な実施例を示す図面を参照して説明したが、本願発明が、かかる実施例に限定されるものでないことは明らかである。例えば、第1のポール部P1に含まれるポール片213は、第2のコイル232の上に突出していてもよいし、その下のポール片212と同じか又は長くてもよい。ポール片214、第2の磁性膜221、そのSeed膜となる第3の磁性膜222は、実施例では、高飽和磁束密度材料であるCoFeN(2.4T)によって構成したが、FeCoを含むスパッタ膜やメッキ膜(2.1～3T)であってもよい。また、スロートハイトTHを決定するポール片223を、IBEによってエッチングする際に、ギャップ膜24の下のポール片214を、0.3～0.35

μm の深さとなるようにエッチングする例を示した（図4 1、図4 2参照）が、ギャップ膜2 4の途中、または、ポール片2 1 4の表面で、エッチングを停止してもよい。

更に、第1のコイル2 3 1にテーパ角を付与するに当たり、フォトリソグラフィ工程において、フォーカス位置をコントロールことによって、80～90度のテーパ角を付与する例を示したが、IBEの適用によって、同角度のテーパを付与することができる。第2のコイル2 3 2に対するテーパ角付与に関しても同様である。

（2）実施例2

実施例2は、図7、図8に図示された薄膜磁気ヘッドの製造方法に係る。図4 5～図6 8はその製造プロセスを示している。図4 5～図6 6に図示するプロセスも、ウエハー上で実行されるものであることを予め断っておく。

まず、図4 5を参照すると、基体1 5の上に付着された絶縁膜1 6の上に、第1のシールド膜3 1、読み取り素子3、絶縁膜3 2、第2のシールド膜3 3、絶縁膜3 4及び第1の磁性膜2 1 1を、周知のプロセスによって形成する。その後、第1の磁性膜2 1 1の平坦な表面に、コイル形成に要する面積よりも少し大きい面積で、絶縁膜2 5 1を形成し、絶縁膜2 5 1の表面にSeed膜2 6 0を形成する。Seed膜2 6 0は、絶縁膜2 5 1の表面及び第1の磁性膜2 1 1の表面を覆うように形成する。Seed膜2 6 0は、Cuメッキ下地膜として適切な材料を用い、Cu-CVDの適用によって、50nm～80nmの膜厚となるように形成する。

次に、Seed膜2 6 0の上にフォトレジスト膜を、スピコート法などの適用によって形成した後、コイルパターンを有するマスクMSKを用いて露光し、現像する。フォトレジスト膜は、ポジティブフォトレジスト、ネガティブフォトレジストの何れでもよい。上述した露光工程を経て現像することにより、図4 5に示すように、レジストフレームFR 5が得られる。次に、選択的Cuメッキ処理を実行し、コイル形成用パターンの内部に存在するSeed膜2 6 0の上に、第1のコイル2 3 1を、例えば3～3.5 μm の厚みとなるように成長させる。図4 5は、上記選択的Cuメッキ処理終了後の状態を示している。

次に、レジストフレームFR5を、ケミカルエッチングなどの手段によって除去した後、ポール片及びバックギャップ片を形成するためのフォトリソグラフィ工程を実行して、ポール片及びバックギャップ片のためのレジストフレームを形成する。

次に、選択的メッキ処理を行い、第1の磁性膜211の上にポール片及びバックギャップ片を成長させ、その後、レジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去する。これにより、図46に示すように、第1の磁性膜211の一面上に、ポール片212及びバックギャップ片216が間隔を隔てて形成される。

第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216は、断面形状で見て、下層が広く、上層が狭くなるように形成される必要がある。そのテーパ角は、第1の磁性膜11及びその上に形成された絶縁膜251の表面を基準にして、80度以上90度未満である。その手段として、実施例1では、露光機の焦点深度を調整していたが、実施例2では、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216の両側面に対して、IBEを実行することにより、下層が広く、上層が狭くなるように形成する。IBEにおけるイオンビームの照射角度は、一側面側で15～30度の範囲、他側面側で20～47度の範囲であることが好ましい。

次に、図47に示すように、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216を覆うフォトレジスト膜RS5を形成する。そして、フォトレジスト膜RS5をマスクにして、IBEにより、第1の磁性膜211を、選択的にエッチングする。

次に、レジストカバーFR5を除去した後、図48に図示するように、絶縁膜251、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216の表面及び側面に、絶縁膜252を付着させる。絶縁膜252は、具体的には、 Al_2O_3 -CVDによって形成されるもので、0.05～0.15 μm の膜厚となるように形成する。

次に、図49に図示するように、絶縁膜252の表面に、Cuのスパッタによって、例えば、50nmの膜厚となるように、Seed膜261を付着させ

る。

次に、図50に図示するように、Seed膜261の上に、第2のコイルとなるメッキ膜232を、フレイムメッキ法により、例えば、 $3\sim5\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。メッキ膜232は、Cuを主成分とする。

次に、図51に図示するように、メッキ膜232及びメッキ膜232によって覆われていない領域、及び、メッキ膜232を覆うように、 Al_2O_3 でなる絶縁膜253を形成する。絶縁膜253は、 $4\sim6\mu\text{m}$ のスパッタ膜として形成する。

次に、図52に図示するように、絶縁膜253及びメッキ膜232をCMPによって研磨し、平坦化する。これにより、第2のコイル232が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第1のコイル231から、絶縁膜252によって分離される。CMPにおいては、ポール片212、バックギャップ片216および絶縁膜253の表面も、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面と同一の平面となるように研磨される。

次に、図53に図示するように、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面を覆う絶縁膜254を付着させる。絶縁膜254は、 Al_2O_3 でなり、例えば、 $0.2\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜254を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、レストフレイムメッキ法により、第3のコイル233を形成する。接続導体281をフレイムメッキ法によって形成する。その厚みは、例えば、 $1.5\sim2.5\mu\text{m}$ である。

次に、接続導体281を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、ポール片213及びバックギャップ片217（図7、図8参照）のためのレジストフレイムを形成し、得られたレジストフレイムによって画定されたパターンにしたがって、フレイムメッキ法を実行し、図55に図示するように、ポール片213及びバックギャップ片217を形成する。ポール片213及びバックギャップ片217を形成した後は、レジストフレイムは除去する。図55は、レジストフレイム除去後の状態を示している。ポール片213及びバックギャップ片217は、CoFe又はCoNiFe（ $2.1\sim2.3\text{T}$ ）

のメッキ膜であり、例えば、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ の範囲の膜厚を有する。

次に、図56に図示するように、第3のコイル233のコイルターン間のスペースに、フォトレジストでなる絶縁膜271を形成する。

次に、図57に図示するように、ポール片213及びバックギャップ片217を形成してある表面に、 Al_2O_3 でなる絶縁膜255を、例えば、 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ の膜厚となるように付着させた後、図58に図示するように、絶縁膜255、ポール片213及びバックギャップ片217の表面を、CMPによって研磨する。

次に、図59に図示するように、絶縁膜255、ポール片213及びバックギャップ片217の被研磨面に、ポール片214（図7、図8参照）のための磁性膜214を、例えば、 $0.3 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。磁性膜214は、 CoFeN （2.4T）によって構成することができる。この後、磁性膜214の表面で、フォトリソグラフィ工程を実行する。このフォトリソグラフィ工程では、図60に示すように、ポール片213及びバックギャップ片217の上に、T型のレジストカバーFR6が形成される。そして、レジストカバーFR5をマスクとして、磁性膜241をIBEの適用によってパターンニングする。これにより、図60に図示するように、ポール片214と、バックギャップ片218が形成される。

次に、ポール片214及びバックギャップ片218を、1側面側で0度、他の側面側で75度のイオン、ビーム照射角度で、IBEを実行した後、図61に図示するように、 Al_2O_3 でなる絶縁膜256を、例えば、 $0.3 \sim 0.7 \mu\text{m}$ の膜厚となるように、スパッタなどの手段によって付着させる。この後、ポール片214及びバックギャップ片218の上のレジストカバーFR6を、リフトオフ法などによって除去する。その後、絶縁膜256、ポール片214及びバックギャップ片218の表面を、CMPによって研磨し、より完全に平坦化する。このときのCMPは、例えば、 $3 \sim 5 \text{nm}$ の研磨量で、軽くなる。

次に、図62に図示するように、ポール片214の平坦化面、絶縁膜256の平坦化面に、パターン化されたギャップ膜24を形成する。ギャップ膜24は、 Al_2O_3 、Ru、NiCu、Taなどの非磁性材料によって、例えば、0.

1 μm の膜厚となるように形成される。

次に、図63に図示するように、ギャップ膜24、バックギャップ片218及び絶縁膜256の表面を覆うように、磁性膜223をスパッタによって付着させる。磁性膜223は、ポール片223及びバックギャップ片224を形成するために利用されるものであって、CoFeN (2.4 T)などの磁性材料を用い、例えば、0.2~0.6 μm の膜厚となるように形成する。

次に、図64、図65に図示するように、磁性膜223の表面に、第2の磁性膜221を形成する。第2の磁性膜221は、フレームメッキ法により、例えば、3.0~3.5 μm の膜厚となるように形成する。

次に、第2の磁性膜221をマスクにして、第3の磁性膜222にIBEを実行し、狭小化されたトラック幅とする。更に、第1のポール部P1に属するポール片214を、例えば、0.25~0.35 μm の深さでトリミングした後、図66、図67に図示するように、保護膜258を、20~40 μm の膜厚となるように、付着させる。保護膜258はスパッタによって付着させることができる。

以上の工程は、ウエハ上で実行される。この後、ウエハからのバー状ヘッド集合体の切り出し、スロートハイト設定のための研磨、及び、ABS加工などの周知の後加工が実行される。図66、67はスロートハイト設定のための研磨が終了した後の状態を示している。

(3) 実施例3

実施例3は、図9、図10に図示した薄膜磁気ヘッドの製造プロセスであり、図68~図78に図示されている。実施例1または実施例2において図示され、説明されたプロセスであって、実施例3においても適用されるプロセスについては、実施例1又は実施例2の説明を参照し、図示は省略することがある。

(A) 図68の状態に至るプロセス

図68は図45~図52に図示する製造プロセスを経た後の状態を示す図である。図68の状態では、CMPによる研磨によって、第2のコイル232が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第1のコイル231から、絶縁膜252によって分離される。また、ポール片212、

バックギャップ片 2 1 6 および絶縁膜 2 5 3 の表面が、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の表面と同一の平面となるように研磨されている。

(B) 図 6 9 の状態に至るプロセス

図 6 9 は、図 6 8 に図示されたプロセスにより平坦化された表面に、第 3 のコイル 2 3 3、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 を形成した状態を示している。これらは、図 1 1 ～図 1 4 に図示し説明したプロセス（実施例 1）、または、図 4 5、図 4 6 に図示し説明したプロセス（実施例 2）を適用することによって形成することができる。

図 1 1 ～図 1 4 に図示したプロセスを採用した場合は、まず、平坦な表面に、コイル形成に要する面積よりも少し大きい面積で、絶縁膜 2 7 2 を形成し、絶縁膜 2 7 2 の表面及び平坦化された表面に S e e d 膜を形成する。S e e d 膜は、C u メッキ下地膜として適切な材料を用い、C u - C V D の適用によって、5 0 n m ～ 8 0 n m の膜厚となるように形成する。

次に、S e e d 膜の上にフォトレジスト膜を、スピコート法などの適用によって形成した後、コイルパターンを有するマスクを用いて露光し、現像する。フォトレジスト膜は、ポジティブフォトレジスト、ネガティブフォトレジストの何れでもよい。

上述したフォトリソグラフィ工程において、露光機（ステッパ）の焦点深度を、S e e d 膜よりも下の位置となるマイナスフォーカスとなるように調整する。これにより、フォトレジスト膜は、下層が広く上層が狭くなるように露光される。マイナスフォーカスは、S e e d 膜の表面を基準にして、0 ～ 0. 5 μ m の範囲又は 0 ～ 1. 2 μ m の範囲に設定する（以上は図 1 1 参照）。

上述した露光工程を経て現像することにより、下層が広く上層が狭くなるコイル形成用パターンが得られる。コイル形成用パターンは、レジストフレームによって画定される（図 1 2 参照）。

次に、選択的 C u メッキ処理を実行し、コイル形成用パターン S 1 の内部に存在する S e e d 膜の上に、第 3 のコイル 2 3 3 を、例えば 3 ～ 3. 5 μ m の厚みとなるように成長させる。第 3 のコイル 2 3 3 は、コイル形成用パターンの形状に従い、断面形状で見て、下層が広く、上層が狭くなるように形成され

る。

次に、第3のコイル232のメッキに用いたレジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去した後、ポール片及びバックギャップ片を形成するためのフォトリソグラフィ工程を実行して、ポール片及びバックギャップ片のためのレジストフレームを形成する。このフォトリソグラフィ工程においても、露光機の焦点深度を、マイナスフォーカスとなるように調整する。これにより、フォトレジスト膜は、下層が広く上層が狭くなるように露光される。

次に、選択的メッキ処理を行い、図69に示すように、ポール片212の上にポール片213を成長させるとともに、バックギャップ片216の上にバックギャップ片217を成長させる。ポール片213及びバックギャップ片217は、断面形状で見て、下層が広く、上層が狭くなるように形成される。

図45、図46に図示したプロセスの適用した場合は、Seed膜の上にフォトレジスト膜を形成した後、コイルパターンを有するマスクを用いて露光し、現像し、レジストフレームを作成する。こうして得られたレジストフレームを用いて、選択的Cuメッキ処理を実行し、コイル形成用パターンの内部に存在するSeed膜の上に、第3のコイル233を、例えば3～3.5 μ mの厚みとなるように成長させる（図45参照）。

次に、レジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去した後、ポール片及びバックギャップ片を形成するためのフォトリソグラフィ工程を実行して、ポール片及びバックギャップ片のためのレジストフレームを形成する。

次に、選択的メッキ処理を行い、ポール片212の上にポール片213を成長させるとともに、バックギャップ片216の上にバックギャップ片217を成長させ、その後、レジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去する。

第3のコイル233、ポール片213及びバックギャップ片217は、断面形状で見て、下層が広く、上層が狭くなるように形成される必要がある。そのテーパ角は、平坦化された表面、または、絶縁膜272の表面を基準にして、80度以上90度未満である。その手段として、第3のコイル233、ポール

片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の両側面に対して、I B E を実行することにより、下層が広く、上層が狭くなるように形成する（図 4 6 参照）。I B E におけるイオン、ビームの照射角度は、一側面側で 1 5 ～ 3 0 度の範囲、他側面側で 2 0 ～ 4 7 度の範囲であることが好ましい。

（C） 図 7 0 の状態に至るプロセス

図 7 0 は、絶縁膜 2 7 2、第 3 のコイル 2 3 3、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の表面及び側面に、絶縁膜 2 7 3 を付着させた状態を示している。絶縁膜 2 7 3 は、具体的には、 Al_2O_3 -CVD によって形成されるもので、0.05～0.15 μm の膜厚となるように形成する。

4. 図 7 1 の状態に至るプロセス

図 7 1 は、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の上に、絶縁膜 2 7 2 を介して、第 3 のコイル 2 3 3、第 4 のコイル 2 3 4、Seed 膜 2 6 2、絶縁膜 2 7 3、2 7 4、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 を設けるとともに、これらの表面を、CMP によって研磨し、平坦化した状態を示している。図 7 0 の状態から、図 7 1 に示す状態に至るプロセスは、実施例 2 の図 4 9 ～図 5 2 に図示されたプロセスとほぼ同じである。

すなわち、絶縁膜 2 7 2、第 3 のコイル 2 3 3、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の表面及び側面に絶縁膜 2 7 3 を付着させた後、Cu のスパッタによって、例えば、50 nm の膜厚となるように、Seed 膜 2 6 2 を付着させる（図 4 9 参照）。

次に、Seed 膜 2 6 2 の上に、第 4 のコイル 2 3 4 となるメッキ膜を、フレイムメッキ法により、例えば、3～5 μm の膜厚となるように形成する（図 5 0 参照）。メッキ膜は、Cu を主成分とする。

次に、メッキ膜によって覆われていない領域、及び、メッキ膜を覆うように、 Al_2O_3 でなる絶縁膜 2 7 4 を形成する（図 5 1 参照）。絶縁膜 2 7 4 は、4～6 μm のスパッタ膜として形成する。

次に、絶縁膜 2 5 3 及びメッキ膜 2 3 2 を CMP によって研磨し、平坦化する（図 5 2 参照）。これにより、第 4 のコイル 2 3 4 が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第 3 のコイル 2 3 3 から、絶縁

膜 2 7 3 によって分離される。CMP においては、ポール片 2 1 3、バックギャップ片 2 1 7 および絶縁膜 2 7 4 の表面も、第 3 のコイル 2 3 3 及び第 4 のコイル 2 3 4 の表面と同一の平面となるように研磨される。これにより、図 7 1 に図示する状態が得られる。

(D) 図 7 2 の状態に至るプロセス

図 7 2 は、第 3 のコイル 2 3 3、第 4 のコイル 2 3 4、Seed 膜 2 6 2、絶縁膜 2 7 3、2 7 4、ポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の表面を、CMP によって研磨し、平坦化して得られた面に、パターン化された絶縁膜 2 5 4 を付着させるとともに、ポール片 2 1 3 の上にポール片 2 1 4 を付着させ、バックギャップ片 2 1 7 の上にバックギャップ片 2 1 8 を付着させ、更に、ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 の周りを、絶縁膜 2 5 5 によって埋めた状態を示している。

図 7 1 の状態から図 7 2 の状態に至るプロセスは、実施例 1 の図 2 2 ～図 2 6 までのプロセスと、ほぼ同じである。

すなわち、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の表面を覆う絶縁膜 2 5 4 を付着させる（図 2 2 参照）。絶縁膜 2 5 4 は、 Al_2O_3 であり、例えば、 $0.2\mu m$ の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜 2 5 4 を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 のためのレジストフレームを形成し、得られたレジストフレームによって画定されたパターンにしたがって、フレームメッキ法を実行し、ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 を形成する（図 2 4 参照）。ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 を形成した後は、レジストフレームは除去する。ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 は、 $CoFeN$ (2.4 T) のスパッタ膜であり、例えば、 $0.3\sim 0.6\mu m$ の範囲の膜厚を有する。

次に、ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 を形成してある表面に、 Al_2O_3 となる絶縁膜 2 5 5 を、例えば、 $1\sim 2\mu m$ の膜厚となるように付着させた後（図 2 5 参照）、絶縁膜 2 5 5、ポール片 2 1 4 及びバックギャップ片 2 1 8 の表面を、CMP によって研磨する（図 2 6 参照）。この CMP は、ポー

ル片 214 及びバックギャップ片 218 の膜厚が、例えば、 $0.5\mu\text{m}$ 以上となるように実行する。

(E) 図 73 の状態に至るプロセス

図 72 の状態から図 73 の状態に至るプロセスは、実施例 1 の図 27～図 35 までのプロセスと、ほぼ同じである。

すなわち、絶縁膜 255、ポール片 214 及びバックギャップ片 218 の被研磨面に、ポール片 215 のための磁性膜 215 を、例えば、 $0.5\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する（図 27 参照）。磁性膜 215 は、 CoFeN によって構成することができる。

次に、磁性膜 215 の表面に、フォトリソグロフィー工程を実行する（図 28 参照）。このフォトリソグロフィー工程では、ポール片 214 及びバックギャップ片 218 の上に、T 型のレジストカバーが残るようにパターニングされる（図 29 参照）。そして、レジストカバーをマスクとして、磁性膜 215 を IBE の適用によってパターニングする。これにより、ポール片 215 と、バックギャップ片 219 が形成される。

次に、 Al_2O_3 でなる絶縁膜 256 を、例えば、 $0.6\mu\text{m}$ の膜厚となるように、スパッタなどの手段によって付着させる（図 30 参照）。この後、ポール片 215 及びバックギャップ片 219 の上のレジストカバーを除去し、更に、絶縁膜 256、ポール片 215 及びバックギャップ片 219 の表面を、CMP によって研磨し、より完全に平坦化する（図 31 参照）。このときの CMP は、例えば、 $0.03\sim 0.05\mu\text{m}$ の研磨量となるように、軽く行なう。

次に、ポール片 215 の平坦化面、絶縁膜 256 の平坦化面に、パターン化されたギャップ膜 24 を形成する（図 32 参照）。ギャップ膜 24 は、 Al_2O_3 、 Ru 、 NiCu 、 Ta などの非磁性材料によって、例えば、 $0.1\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成される。

次に、ギャップ膜 24、バックギャップ片 219 及び絶縁膜 256 の表面を覆うように、磁性膜 223 を付着させる（図 33 参照）。磁性膜 223 は、ポール片 223 及びバックギャップ片 224 を形成するために利用されるものであって、 CoFeN などの磁性材料を用い、例えば、 $0.2\sim 0.6\mu\text{m}$ の膜厚

となるように形成する。

次に、磁性膜 2 2 3 の表面に、フォトリソグラフィ工程により、T 型のレジストカバーを形成する（図 3 4 参照）。レジストカバーは、ポール片 2 1 2 ~ 2 1 5 の上、及び、バックギャップ片 2 1 6 ~ 2 1 9 の上に位置するように形成する。この後、I B E を実行することにより、ポール片 2 2 3、ギャップ膜 2 4 及びバックギャップ片 2 2 4 を所定の形状にパターンニングする（図 3 5 参照）。この I B E では、ポール片 2 2 3 を、例えば、0 度と、7 5 度の角度のイオン、ビームで、0. 3 ~ 0. 6 μ m の深さだけエッチングし、更に、ギャップ膜 2 4 に至るまで、又は、ギャップ膜 2 4 の下のポール片 2 1 4 に到達するまで、エッチングするように実行することができる。この後、I B E でエッチングした深さを埋めるように、絶縁膜 2 5 7 を付着させると、図 7 3 に図示する状態となる。図 7 3 において、ポール片 2 1 2 ~ 2 1 5 の上、及び、バックギャップ片 2 1 6 ~ 2 1 9 の上にレジストカバー F R 7 が形成されている。

（F） 図 7 4 の状態に至るプロセス

図 7 3 から図 7 4 に状態に至るプロセスでは、まず、レジストカバー F R 7 を除去する。レジストカバー F R 7 を除去した後の表面を、CMP によって研磨し、平坦化する。この場合の CMP は、研磨量が 3 0 ~ 7 0 nm の範囲となるように、軽く行なう。図 7 4 は CMP による研磨後の状態を示している。

（G） 図 7 5、図 7 6 の状態に至るプロセス

図 7 3 から図 7 4 に状態に至るプロセスは、実施例 1 の図 3 7 に示すプロセスを含んでいる。

まず、平坦化された表面に、C o F e N などである第 3 の磁性膜 2 2 2 を、5 0 nm ~ 5 0 0 nm の範囲の膜厚となるように、スパッタなどの手段によって付着させた後、この第 3 の磁性膜 2 2 2 を S e e d 膜として、その表面に、C o N i F e である第 2 の磁性膜 2 2 1 を、選択的にメッキする（図 3 7 参照）。メッキ膜厚は、例えば、3. 0 ~ 3. 5 μ m の範囲である。

その後、図 7 5 に図示するように、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 によって構成されるポール片 2 2 1、2 2 2 の先端を I B E によってトリミングした後、ポール片 2 2 1 となる部分を除き、第 2 の磁性膜 2 2 1 の全体

をフォトレジストFR8でカバーし、第3の磁性膜222、ポール片223、ギャップ膜24及びポール片214を、IBEによってエッチングする。このエッチング処理によって、第3の磁性膜222、ポール片223、ギャップ膜24及びポール片214のトラック幅が、図76に図示するように狭幅化される。ポール片214のエッチング深さは、例えば、0.3～0.35 μ mの範囲に設定される。

ここで、ポール片221となる部分を除き、第2の磁性膜221の全体をフォトレジストFR8でカバーしてあるから、第2の磁性膜221は、ポール部で低く、その他の領域はエッチングされない高い領域となる。このため、サイドライトやサイドイレースを低減できる。

この後、フォトレジストFR8を除去し、図77、図78に図示するように、保護膜285を付着させることにより、完成する。

(4) テーパ角付与の別の例

第2のコイル232又は第4のコイル234に対してテーパ角を付与する手段として、実施例1～実施例3では、第1のコイル231又は第3のコイル233に対してテーパ角を付与し、そのテーパ角に追従させて第2のコイル232又は第4のコイル234を形成することにより、テーパ角を付与していた。図79～図83は、実施例1～実施例3とは異なるテーパ角の付与プロセスを示している。

まず、図79に示すように、第1の磁性膜211の表面に、絶縁膜251を設け、その上にフォトリソグラフィ工程によって、第1のコイル231（又は第3のコイル）を形成する。また、第1の磁性膜211の表面に、フォトリソグラフィ工程によって、コイル片212及びバックギャップ片216を形成する。この場合のフォトリソグラフィ工程の詳細は、図45等を参照して説明したとおりである。

次に、図80に図示するように、絶縁膜251、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216の表面及び側面に、絶縁膜252を付着させる。絶縁膜252は、具体的には、 Al_2O_3 -CVDによって形成されるもので、0.1 μ m程度の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜 252 の表面に、Cu スパッタ膜を 50 nm の膜厚となるように成膜した後、Cu-CVD によって、50～150 nm の範囲の膜厚となるように付着させ、Seed 膜 261 を形成する。

次に、図 81 に図示するように、Ion Beam を斜め上方から照射して、Seed 膜 261 を、開口の大きさが上端ほど大きくなるようにエッチングする。Ion Beam は、少なくとも 2 回に分けて照射することが好ましい。この場合の Ion Beam の照射は、例えば、第 1 回目は 0～40 度の照射角度で実行し、第 2 回目は 40～70 度の照射角度で実行する。これにより、Seed 膜 261 が開口端に向かうほど大きくエッチングされるので、テーパ角度が付与される。但し、Ion Beam は、Seed 膜 261 が分断されないように実行しなければならない。

次に、図 82 に図示するように、第 2 のコイルのための Cu メッキ膜 232 を、例えば、4～5 μ m の範囲の膜厚となるように成膜する。Seed 膜 261 には、開口端に向かうほど、開口が大きくなるテーパ角度が付与されているので、Key Hole を生じることなく、Cu メッキ膜 232 を形成することができる。

次に、Cu メッキ膜 232 を CMP によって研磨し、平坦化する。CMP にあたっては、アルミナ系スラリーを用いる。これにより、第 2 のコイル 232 が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第 1 のコイル 231 から、絶縁膜 252 によって分離される。CMP においては、ポール片 212 及びバックギャップ片 216 の表面も、第 1 のコイル 231 及び第 2 のコイル 232 の表面と同一の平面となるように研磨される。

図 79～図 83 のプロセスは、第 3 のコイル 233 及び第 4 のコイル 234 を形成する際にも、同様に適用される。図 83 の後の工程は、実施例 1～実施例 3 で述べたとおりである。

4. 磁気ヘッド装置及び磁気記録再生装置

本発明は、更に、磁気ヘッド装置及び磁気記録再生装置についても開示する。図 84 及び図 85 を参照すると、本発明に係る磁気ヘッド装置は、図 1～図 10 に示した薄膜磁気ヘッド 400 と、ヘッド支持装置 6 とを含む。ヘッド支持

装置 6 は、金属薄板でなる支持体 6 1 の長手方向の一端にある自由端に、同じく金属薄板でなる可撓体 6 2 を取付け、この可撓体 6 2 の下面に薄膜磁気ヘッド 4 0 0 を取付けた構造となっている。

具体的には、可撓体 6 2 は、支持体 6 1 の長手方向軸線と略平行して伸びる 2 つの外側枠部 6 2 1、6 2 2 と、支持体 6 1 から離れた端において外側枠部 6 2 1、6 2 2 を連結する横枠 6 2 3 と、横枠 6 2 3 の略中央部から外側枠部 6 2 1、6 2 2 に略平行するように延びていて先端を自由端とした舌状片 6 2 4 とを有する。横枠 6 2 3 のある方向とは反対側の一端は、支持体 6 1 の自由端付近に溶接等の手段によって取付けられている。

支持体 6 1 の下面には、例えば半球状の荷重用突起 6 2 5 が設けられている。この荷重用突起 6 2 5 により、支持体 6 1 の自由端から舌状片 6 2 4 へ荷重力が伝えられる。

薄膜磁気ヘッド 4 0 0 は、舌状片 6 2 4 の下面に接着等の手段によって取付けられている。薄膜磁気ヘッド 4 0 0 は、ピッチ動作及びロール動作が許容されるように支持されている。

本発明に適用可能なヘッド支持装置 6 は、上記実施例に限定するものではなく、これまで提案され、またはこれから提案されることのあるヘッド支持装置を、広く適用できる。例えば、支持体 6 1 と舌状片 6 2 4 とを、タブテープ (TAB) 等のフレキシブルな高分子系配線板を用いて一体化したもの等を用いることもできる。また、従来より周知のジンバル構造を持つものを自由に用いることができる。

次に、図 8 6 を参照すると、本発明に係る磁気記録再生装置は、軸 7 0 の回りに回転可能に設けられた磁気ディスク 7 1 と、磁気ディスク 7 1 に対して情報の記録及び再生を行う薄膜磁気ヘッド 7 2 と、薄膜磁気ヘッド 7 2 を磁気ディスク 7 1 のトラック上に位置決めするためのアセンブリキャリッジ装置 7 3 とを備えている。

アセンブリキャリッジ装置 7.3 は、軸 7 4 を中心にして回動可能なキャリッジ 7 5 と、このキャリッジ 7 5 を回動駆動する例えばボイスコイルモータ (VCM) からなるアクチュエータ 7 6 とから主として構成されている。

キャリッジ75には、軸74の方向にスタックされた複数の駆動アーム77の基部が取り付けられており、各駆動アーム77の先端部には、薄膜磁気ヘッド72を搭載したヘッドサスペンションアッセンブリ78が固着されている。各ヘッドサスペンションアッセンブリ78は、その先端部に有する薄膜磁気ヘッド72が、各磁気ディスク71の表面に対して対向するように駆動アーム77の先端部に設けられている。

駆動アーム77、ヘッドサスペンションアッセンブリ78及び薄膜磁気ヘッド72は、図84、図85を参照して説明した磁気ヘッド装置を構成する。薄膜磁気ヘッド72は、図1～図10に示した構造を有する。従って、図86に示した磁気記録再生装置は、図1～図10を参照して説明した作用効果を奏する。

以上、好ましい実施例を参照して本発明の内容を具体的に説明したが、本発明の基本的技術思想及び教示に基づいて、当業者であれば、種々の変形態様を採り得ることは自明である。